

Figure 1 : Schéma simplifié de l'organisation de la cellule d'appui aux situations d'urgence

**Perspectives.** Au cours de l'année 2004, la CASU a été sollicitée une trentaine de fois dont la moitié en situation d'urgence réelle. Ces demandes sont issues en majorité d'organismes publics. A partir de ce retour d'expérience et des modalités d'intervention définies par la circulaire du 15 juillet 2005, la CASU se propose d'ouvrir une offre de service à destination des collectivités locales, des industriels et d'autres professionnels pour lesquels les interventions sont restées marginales jusqu'à présent. Alors, qu'en cas de crise, les industriels ont tout intérêt à revenir le plus vite possible à une situation normale pour retrouver leur capacité de production initiale.

**Gautier Vincent**  
Ineris, Pharmacien-Ingénieur  
Direction des Risques Accidentels

## MÉTHODE

### Incendie : l'apport de la modélisation dans les études de dangers

Un incendie est familièrement défini comme « un grand feu qui, en se propageant, cause des dégâts importants » [Le petit Larousse illustré]. Une définition plus précise serait « une combustion autoentretenu qui se développe d'une manière incontrôlée dans le temps et dans l'espace ». Mais quelle que soit la définition retenue, le phénomène est le même.

2

**Le phénomène incendie.** Un incendie peut toucher toutes sortes de constructions : les habitations comme les installations industrielles. Les incendies domestiques ont un fort retentissement médiatique, notamment à cause des victimes qu'ils occasionnent parfois. Les incendies survenus dans certains logements parisiens au mois d'août en sont un triste exemple. Par opposition, les incendies se produisant dans les installations industrielles interpellent l'opinion publique en raison des conséquences matérielles souvent spectaculaires ou des pollutions qu'ils engendrent (Fig. 1 et Fig. 2). Dans le cadre des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), l'étude de dangers ana-



Figure 1 : Incendie de produits phytosanitaires © SDIS 54

*Le comburant* est l'élément qui apporte l'oxygène nécessaire à la combustion. L'air est le comburant le plus répandu. *L'énergie d'activation* est l'énergie nécessaire à l'amorçage de la réaction chimique de combustion. Les sources d'activation sont nombreuses : points chauds, électricité statique, énergie électrique...

lyse le phénomène « incendie » et en évalue les conséquences par le biais d'une modélisation. L'interprétation des résultats de cette dernière amène à se poser des questions pertinentes : quels sont les enseignements primordiaux apportés par la modélisation ? Quelles en sont les limites ? Quel indice de confiance doit-on accorder à ces résultats ? Avant de répondre précisément à ces questions, il convient de rappeler les causes et les conséquences d'un incendie répertoriées dans le cadre des études de dangers.

**Causes d'un incendie.** Pour qu'un incendie puisse se produire, trois conditions doivent être réunies simultanément. Elles sont représentées par le triangle du feu (Fig. 3).

*Le combustible* est l'élément qui va être oxydé par la réaction de combustion. De nombreux combustibles sont présents dans notre environnement professionnel : matériel informatique, poubelles



Figure 2 : Incendie de carcasses de voitures © Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs québécois

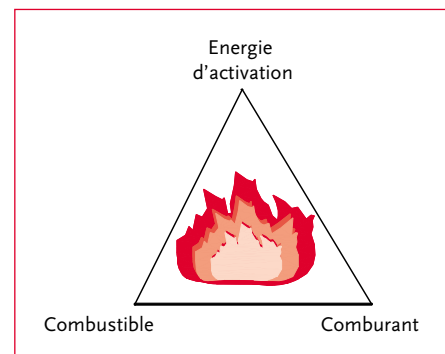


Figure 3 : Triangle du feu

pour papier... Mais lorsque cet environnement professionnel se situe au sein d'une ICPE, les combustibles sont alors plus nombreux et variés : bois, papier, carton, matières plastiques, produits pétroliers, produits agropharmaceutiques...

**Conséquences d'un incendie.** Tout comme les causes, les effets engendrés par un incendie sont déclinés sous trois aspects dans les études de dangers :

– *Le dégagement de chaleur* : il est dû à l'énergie libérée par la réaction chimique de combustion, et se présente majoritairement sous forme radiative. Il a essentiellement des effets sur l'homme (brûlures), et les structures (fragilisation, effondrement).

– *Le dégagement de fumées* : la composition de celles-ci varie fortement selon les produits impliqués dans l'incendie. Elles ont principalement des effets sur l'homme : brûlures internes dues à leur température, asphyxie due à l'appauvrissement en oxygène de l'air, intoxication due à leur toxicité, gêne pour l'évacuation (intérieur et extérieur des bâtiments) due à leur opacité. Les fumées dégagées sont aussi un vecteur de propagation de l'incendie du fait de leur température élevée.

– *Les eaux d'extinction* : elles peuvent engendrer une pollution du milieu environnant par entraînement de produits dangereux.

**L'apport de la modélisation.** Dans le cadre des études réalisées pour les ICPE, l'analyse de risques recherche les conditions d'occurrence de l'incendie au travers de l'examen de ses causes.

Cet outil permet d'identifier les scénarios d'accident et de déterminer les accidents majeurs après mise en relation avec la grille de criticité. Dans le cas d'un scénario d'accident majeur fondé sur le développement d'un incendie, il est nécessaire de fournir une modélisation des effets engendrés. La démarche consiste à déterminer les distances pour lesquelles les valeurs de référence des seuils d'effets sont atteintes. Ces seuils, correspondant à des effets attendus sur les hommes et les structures, ont été fixés par arrêté du Ministère de l'Ecologie et du Développement durable (Encadré 1). Ils caractérisent des paramètres permettant de quantifier les effets de rayonnement et de pollution atmosphérique. La modélisation réalisée dans le cadre de l'étude de dangers doit donc s'attacher à définir ces zones d'effets, communément dénommées « zones de dangers ». Ainsi, la démarche de modélisation repose sur la détermination de zones d'effets, et non sur l'étude seule des effets potentiels subis par les cibles sensibles qui ont pu être identifiées sur le site ou à proximité. Une cartographie du risque incendie est alors établie.

**Déterminer une cartographie.** Si l'objectif premier de la modélisation est de disposer d'une cartographie des risques, elle s'avère un outil fondamental dans la démarche de maîtrise des risques de l'installation à l'étude.

En effet, la cartographie élaborée renseigne sur les zones où des effets de référence sont attendus en cas d'occurrence d'un incendie. Cela a pour conséquence

immédiate la maîtrise de l'urbanisation alentour (Encadré 2). De plus, cet outil contribue à l'organisation des interventions des services de secours en apportant des éléments décisifs autorisant l'anticipation de certaines conséquences. Par ailleurs, cette cartographie revêt un grand intérêt pour l'exploitant : elle le renseigne quant à l'agencement adéquat des installations du site, et plus particulièrement, sur la sensibilité des cibles potentielles. Ce dernier point autorise alors la définition de mesures compensatoires visant à réduire les effets. L'influence de ces barrières de sécurité doit alors être évaluée : ceci ne peut être convenablement réalisé qu'au travers de modélisations complémentaires prenant en compte la mesure de protection envisagée. Ceci est possible grâce à certains modèles analytiques et aux modèles numériques qui permettent d'intégrer des barrières de protection (mur coupe-feu, sprinklage, ...) dans la modélisation.

**Les limites.** Bien que cette cartographie du risque incendie fournisse de précieux renseignements, elle engendre des contraintes pour l'exploitant. Les moyens mis en œuvre pour son obtention soulèvent donc quelques observations. Dans un premier temps, la mise en données de la modélisation du scénario d'accident présente des limites. A titre d'exemples :

– assimiler un stockage de fuel lourd à un stockage d'essence peut conduire à surdimensionner les zones d'effets (20 % dans le cas de la zone des effets irréversibles !)

3

**Encadré 1 : Arrêté du 22 octobre 2004 relatif aux valeurs de référence de seuils d'effets des phénomènes accidentels des installations classées**

Les valeurs de référence des seuils d'effets pour les paramètres permettant de caractériser les effets d'un incendie sont les suivantes :

• **Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques**

Flux thermique	Effets sur les structures	Effets sur l'homme
3 kW.m <sup>-2</sup>		Seuil des effets irréversibles correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine
5 kW.m <sup>-2</sup>	Seuil des destructions de vitres significatives	Seuil des premiers effets létaux correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine
8 kW.m <sup>-2</sup>	Seuil des effets domino et correspondant au seuil de dégâts graves sur les structures	Seuil des effets létaux significatifs correspondant à la zone des dangers très graves pour la vie humaine
16 kW.m <sup>-2</sup>	Seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton	
20 kW.m <sup>-2</sup>	Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton	
200 kW.m <sup>-2</sup>	Seuil de ruine du béton en quelques dizaines de minutes	

• **Valeurs de référence relatives aux seuils d'effets toxiques (par inhalation)**

Pour la délimitation des zones d'effets significatifs sur la vie humaine, les seuils d'effets de référence pour les installations classées sont les suivants :

- les seuils des effets irréversibles SEI pour la zone des dangers significatifs pour la vie humaine ;
- les seuils des premiers effets létaux (SEL) correspondant à une CL 1 % pour la zone des dangers graves pour la vie humaine ;
- les seuils des effets létaux (SEL) significatifs correspondant à une CL 5 % pour la zone des dangers très graves pour la vie humaine.

### Encadré 2 : Plan de Prévention des Risques Technologiques

Le PPRT est un outil récent de maîtrise de l'urbanisation autour des sites industriels à risques. Son élaboration est pilotée par le Préfet, mais nécessite le concours des exploitants des établissements concernés. Selon l'article 5 du décret n° 2005-1130 du 7 septembre 2005 relatif aux plans de prévention des risques technologiques :

« Si les éléments contenus dans les études de dangers se révèlent insuffisants, le préfet peut, pour l'élaboration du projet de plan, prescrire aux exploitants la communication des informations nécessaires en leur possession, dans les conditions prévues à l'article 18 du décret du 21 septembre 1977 susvisé. ».

Les conclusions de l'étude de dangers, et plus particulièrement la cartographie des risques élaborée, sont donc déterminantes puisqu'elles servent de point de départ à l'élaboration des PPRT. Or, ces derniers délimitent les zones, autour des installations classées à haut risque, à l'intérieur desquelles des prescriptions peuvent être imposées aux constructions existantes et futures et celles à l'intérieur desquelles les constructions futures peuvent être réglementées. Ils définissent également les secteurs à l'intérieur desquels :

- l'expropriation est possible pour cause de danger très grave menaçant la vie humaine,
- les communes peuvent donner aux propriétaires un droit de délaissement pour cause de danger grave menaçant la vie humaine,
- les communes peuvent préempter les biens à l'occasion de transferts de propriétés.

Il apparaît donc clairement que les modélisations, notamment les modélisations d'incendie, doivent être réalisées avec la plus grande précision, car il en découle des décisions parfois lourdes de conséquences.

- confondre un polyoléfine (polyéthylène, polypropylène) avec un polyvinylique (polychlorure de vinyle) amène à occulter le chlorure d'hydrogène dégagé par les polyvinyliques. L'expertise s'exprime aussi dans le choix du modèle appliqué. Toujours à titre d'exemple, les connaissances scientifiques actuelles

recensent diverses corrélations pour le calcul de la hauteur des flammes lors d'un incendie de produit liquide. Les domaines d'application de ces corrélations sont restreints, et un choix inadéquat peut conduire à des erreurs sur la hauteur des flammes pouvant atteindre 500 % !

**Conclusion.** Il apparaît donc clairement que la modélisation des effets d'un incendie requiert une excellente maîtrise des outils disponibles, un choix éclairé des hypothèses de modélisation, et une mise en données adaptée au cas étudié. Le retour d'expérience sur les incidents passés favorise cette approche, mais c'est principalement le degré d'expertise du rédacteur de l'étude de dangers qui conditionne le bon déroulement de cette dernière.

**Céline Picot**

*Ingénieur d'études sûreté  
des processus industriels  
CEDERIT de Giat Industries,  
Membre du réseau CNRI*

**Le Centre d'étude et de prévention des risques technologiques (CEDERIT) est un bureau d'études de Giat Industries spécialisé, entre autres, dans la rédaction des études de dangers d'installations classées pour la protection de l'environnement. A ce titre, il est rompu à l'étude des accidents majeurs, parmi lesquels l'incendie occupe une place notable.**

## 4

## RETOUR D'EXPÉRIENCE

### **Challenger et Columbia : les difficultés de l'analyse des précurseurs**

À l'heure où le *Shuttle* est à nouveau cloué au sol, après un retour en vol réussi mais n'ayant pas permis de résoudre totalement les faiblesses à l'origine de la perte de *Columbia*, il peut être intéressant de faire un retour en arrière sur les leçons à tirer des accidents de *Challenger* et *Columbia*

**C**ontexte. Les rapports des commissions d'enquête post-accidentelles sont souvent riches en enseignements ; ainsi pour les deux accidents du *Space Shuttle*, plusieurs points communs ont été mis en évidence :

- l'influence des facteurs organisationnels et culturels,
- l'existence de précurseurs,
- les aspects cognitifs, ou de perception du risque.

Seul le second point sera détaillé dans cet article, qui est extrait en grande partie d'un texte présenté lors du congrès de maîtrise des risques  $\mu\text{I}4$  de l'IMdR-SdF (Bourges, 2004), et qui aborde de manière plus complète les trois thèmes.

#### **Retour sur l'accident de Challenger.**

Le 28 janvier 1986, 73 secondes après le lancement, la navette *Challenger* explose à cause de la défaillance d'un joint torique du booster gauche, entraînant la

mort des sept astronautes. Or, les ingénieurs savaient que les joints toriques des boosters supportaient mal le froid, et une érosion des joints avait été constatée sur des matériels récupérés après lancement, manifestant un échappement de gaz brûlant au-delà du premier joint (en particulier après le coup de froid de 1985 :  $-7^\circ\text{C}$  en centre spatial Kennedy). Mais cette anomalie observée, n'ayant pas encore entraîné de conséquences catastrophiques, a été interprétée par une erreur de raisonnement comme une preuve de la robustesse du système plutôt que comme une faille de sécurité [3].

L'analyse du retour d'expérience concernant l'érosion des joints toriques aurait mis en évidence une corrélation entre cette érosion et les basses températures. Le risque dû au froid exceptionnel observé à la date prévue de la mission STS-51L ( $-4^\circ\text{C}$  en début de

matinée le jour du lancement de *Challenger*) aurait alors été mieux perçu. En effet, les 4 lancements effectués en dessous de  $18^\circ\text{C}$  présentaient tous au moins un défaut sur les joints, alors que lorsque la température extérieure est élevée, presque tous les vols sont sans défaut. Lors de la revue d'aptitude au vol, les ingénieurs du sous-traitant de la NASA ont exprimé leurs craintes pour les joints, mais la NASA leur a demandé, non pas de prouver qu'il était sûr de lancer le *Shuttle*, mais de prouver que ce n'était pas sûr. Les ingénieurs n'ont considéré que les vols avec incident dans leur analyse de l'influence de la température, et ils n'ont donc pas pu démontrer la corrélation qu'ils avaient perçue intuitivement [1, 3]. Cette succession d'erreurs collectives a finalement abouti à la décision de lancer *Challenger*. Les signaux de danger ont été étouffés ; même ceux qui étaient absolument